

УДК 630*383.2

ОПТИМАЛЬНЫЙ УГОЛ ПРИМЫКАНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО УСА К ВЕТКЕ

Д.Н. Афоничев, А.В. Пядухов, С.М. Гоптарев

ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»

dmafonichev@yandex.ru

Приведены аналитические зависимости, позволяющие определить оптимальный угол примыкания лесовозного уса к ветке, который обеспечит минимальные затраты на вывозку древесины. Разработанный математический аппарат учитывает размещение трелевочных волоков на лесосеке, смещение уса по направлению грузопотока и стоимостные показатели трелевки и вывозки древесины, устройства путей технологического транспорта.

Ключевые слова: лесовозный ус, ветка, вывозка древесины, трелевочный волок, затраты, смещение уса, лесосека, угол примыкания.

В настоящее время рекомендуется примыкание лесовозных усов к веткам под прямым углом [1, 2, 3, 4], но это не всегда экономически целесообразно. В частности в части зоны тяготения ветки, расположенной в противоположную сторону от направления грузопотока по магистрали, примыкание усов под прямым углом приводит к возникновению перепробега подвижного состава по ветке. Таким образом, необходимо определить оптимальный угол примыкания уса к ветке.

Лесовозный ус на лесосеке размещают либо по середине лесосеки, либо по ее краю [1, 2, 3, 4]. При размещении уса по середине лесосеки, он делит лесосеку на две отдельные части, при этом направление трелевки в одной части будет в противоположную сторону направлению грузопотока по ветке, а поэтому для снижения затрат на вывозку и трелевку древесины целесообразно ус сместить от центра лесосеки по направлению грузопотока по ветке [4]. Смещение уса от центра лесосеки по направлению грузопотока по ветке не из-

меняет величины затрат на устройство и содержание ветки. В то же время примыкание уса к ветке под углом, отличным от прямого, повлечет за собой увеличение затрат на строительство уса с погрузочными пунктами и вывозку по усу, устройство трелевочных волоков. Таким образом, в качестве критерия оптимизации угла примыкания уса примем суммарные удельные затраты на трелевку, устройство волоков, строительство уса с погрузочными пунктами и вывозку древесины по усу и ветке $z_{y\partial}$ (р./м³)

$$z_{y\partial} = z_T + z_{TB} + z_{YC} + z_{YB} + z_B, \quad (1)$$

где z_T – удельные затраты на трелевку древесины, р./м³;

z_{TB} – удельные затраты на устройство трелевочных волоков, р./м³;

z_{YC} – удельные затраты на строительство уса с погрузочными пунктами, р./м³;

z_{YB} – удельные затраты на вывозку древесины по усу, р./м³;

z_B – удельные затраты на вывозку древесины по ветке, р./м³.

$$z_T = z_{TMB} + z_{ТПВ}, \quad (2)$$

где z_{TMB} , $z_{ТПВ}$ – удельные затраты на трелевку соответственно по магистральным и пасечным волокам, р./м³.

$$z_{TMB} = b_T(l_{MB1}s_1 + l_{MB2}s_2), \quad (3)$$

где b_T – стоимость трелевки древесины по магистральным волокам, р./(м³·км);

l_{MB1} , l_{MB2} – средние расстояния трелевки по магистральным волокам в отдельных частях лесосеки, км;

s_1 , s_2 – коэффициенты, учитывающие объем древесины, заготавливаемой в отдельных частях лесосеки.

$$z_{ТПВ} = b_{П}(l_{ПВ1}s_1 + l_{ПВ2}s_2), \quad (4)$$

где $b_{П}$ – стоимость трелевки древесины по пасечным волокам, р./(м³·км);

$l_{ПВ1}$, $l_{ПВ2}$ – средние расстояния трелевки по пасечным волокам в отдельных частях лесосеки, км.

$$l_{MB1} = k_{PM} \left[\frac{0,5}{\sin \alpha} (0,5d_y - a_0 - z) - 0,5a + a_1 \right];$$

где k_{PM} – коэффициент удлинения магистральных волоков;

a_0 – полуширина зоны тяготения к пасечному волоку, км;

z – расстояние от уса до магистрального волока, км;

a_1 – протяженность магистрального волока в пределах погрузочного пункта, км.

При размещении магистральных волоков параллельно усу среднее расстояние трелевки по ним не зависит от смещения уса a и его угла примыкания к ветке. Средние расстояния трелевки по пасечным

Используя аналитические зависимости для определения объема заготовки древесины в отдельных частях лесосеки, приведенные в работе [4], получим выражения для определения коэффициентов s_1 , s_2

$$s_1 = \left(\frac{1}{2} - \frac{a \sin \alpha}{d_y} \right); \quad s_2 = \left(\frac{1}{2} + \frac{a \sin \alpha}{d_y} \right), \quad (5)$$

где a – смещение уса от центра лесосеки в направлении грузопотока по ветке, км;

α – угол примыкания уса к ветке, град;

d_y – ширина зоны тяготения к усу, км.

При размещении магистральных волоков параллельно ветке среднее расстояние трелевки по пасечным волокам не зависит от смещения уса a и угла примыкания уса к ветке. Средние расстояния трелевки по магистральным волокам при их размещении параллельно ветке будут равны [4]:

$$l_{MB2} = k_{PM} \left[\frac{0,5}{\sin \alpha} (0,5d_y - a_0 - z) + 0,5a + a_1 \right], \quad (6)$$

волокам при их размещении параллельно ветке будут равны:

$$\begin{aligned} l_{ПВ1} &= 0,5k_{ПП} \left[\frac{0,5d_y - z}{\sin \alpha} - a \right]; \\ l_{ПВ2} &= 0,5k_{ПП} \left[\frac{0,5d_y - z}{\sin \alpha} + a \right], \end{aligned} \quad (7)$$

где $k_{ПП}$ – коэффициент удлинения пасечных волоков.

Подстановка выражений (5) и (6) в формулу (3) и зависимостей (5) и (7) в формулу (4) после преобразований позволила получить следующие зависимости:

а) при размещении магистральных волоков параллельно ветке

$$z_T = b_T k_{PM} \left(\frac{0,5d_y - a_0 - z}{2 \sin \alpha} + \frac{a^2 \sin \alpha}{d_y} + a_1 \right) + \frac{b_{\Pi} k_{PII} s_{\Pi}}{2 \sin \alpha}, \quad (8)$$

б) при размещении магистральных волоков параллельно усу

$$z_T = 0,5b_{\Pi} k_{PII} \left(\frac{0,5d_y - z}{\sin \alpha} + \frac{2a^2 \sin \alpha}{d_y} + a_1 \right) + \frac{b_T k_{PM} s_{\Pi}}{2 \sin \alpha}, \quad (9)$$

где s_{Π} – ширина пасеки, км.

Удельные затраты на устройство трелевочных волоков z_{TB} составят:

$$z_{TB} = \frac{0,5d_B - l_0}{50\gamma d_y d_B s_{\Pi}} \left[C_{TM} k_{PM} (d_y - 2a_0 - 2z + 2a_1 \sin \alpha) + \frac{C_{TII} k_{PII} (d_y - 2a_0 - 2z)(s_{\Pi} - a_0) \sin \alpha}{2a_0} \right]; \quad (10)$$

б) при размещении магистральных волоков параллельно усу

$$z_{TB} = \frac{0,5d_B - l_0}{50\gamma d_y d_B s_{\Pi}} \left[k C_{TM} k_{PM} (s_{\Pi} - a_0 + a_1 \sin \alpha) + \frac{C_{TII} k_{PII} s_{\Pi} (d_y - 2a_0 - 2z) \sin \alpha}{2a_0} \right], \quad (11)$$

где γ – ликвидный запас древесины на 1 га, м³/га;

d_B – ширина зоны тяготения к ветке, км;

l_0 – расстояние от оси ветки до границы лесосеки, км;

k – коэффициент, учитывающий расположение уса, при расположении уса по краю лесосеки $k=1$, при расположении со смещением или по середине $k=2$;

C_{TM} – стоимость устройства 1 км магистрального волока, р./км;

C_{TII} – стоимость устройства 1 км пасечного волока, р./км.

Удельные затраты на строительство уса с погрузочными пунктами z_{YC} выразим следующей функцией:

$$z_{YC} = \frac{k_0 k_{PY} C_Y}{100\gamma d_y}, \quad (12)$$

а) при размещении магистральных волоков параллельно ветке

где k_0 – коэффициент, учитывающий протяженность уса от ширины зоны тяготения ветки d_B ;

k_{PY} – коэффициент развития уса;

C_Y – стоимость строительства 1 км уса с погрузочными пунктами, р.

Удельные затраты на вывозку древесины по усу z_{YB} составят

$$z_{YB} = \frac{d_B k_0 k_{PY} b_Y k_1}{2 \sin \alpha}, \quad (13)$$

где b_Y – стоимость вывозки древесины по усу, р./(м³·км);

k_1 – коэффициент, учитывающий среднее расстояние вывозки древесины по усу.

Удельные затраты на вывозку древесины по ветке z_B составляют

$$z_B = 0,5d_B k_{PB} \left(\frac{d_y}{\sin \alpha} - \frac{d_B \cos \alpha}{\sin \alpha} - 2a \right), \quad (14)$$

где b_B – стоимость вывозки древесины по ветке, р./(м³·км);

k_{PB} – коэффициент развития ветки.

Для поиска оптимального угла примыкания уса к ветке α и смещения уса по направлению грузопотока a надо найти производные частного порядка от функции (1) по аргументам α и a . Функция (1) – аддитивная, а поэтому достаточно взять производные от ее аддитивных составляющих, определяемых зависимостями (8) – (14):

$$\frac{\partial z_B}{\partial a} = -b_B k_{PB};$$

$$\frac{\partial z_B}{\partial a} = \frac{0,5b_B k_{PB}(d_B - d_V \cos \alpha)}{\sin^2 \alpha}. \quad (15)$$

$$\frac{\partial z_{VB}}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial z_{VB}}{\partial a} = -\frac{d_B k_0 k_{PY} b_V k_1 \cos \alpha}{2 \sin^2 \alpha}. \quad (16)$$

$$\frac{\partial z_{VC}}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial z_{VC}}{\partial \alpha} = 0. \quad (17)$$

При размещении магистральных волоков параллельно ветке:

$$\frac{\partial z_T}{\partial a} = \frac{2ab_T k_{PM} \sin \alpha}{d_V}; \quad \frac{\partial z_T}{\partial a} = \left(\frac{b_T k_{PM} a^2}{d_V} - \frac{b_T k_{PM}(0,5d_V - a_0 - z) + b_{\Pi} k_{\Pi\Pi} s_{\Pi}}{2 \sin^2 \alpha} \right) \cos \alpha; \quad (18)$$

$$\frac{\partial z_{TB}}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial z_{TB}}{\partial \alpha} = \frac{(0,5d_B - l_0) \cos \alpha}{50\gamma d_V d_B s_{\Pi}} \left[2C_{TM} k_{PM} a_1 + \frac{C_{\Pi\Pi} k_{\Pi\Pi} (d_V - 2a_0 - 2z)(s_{\Pi} - a_0)}{2a_0} \right]. \quad (19)$$

При размещении магистральных волоков параллельно усу:

$$\frac{\partial z_T}{\partial a} = \frac{2k_{\Pi\Pi} b_{\Pi} a \sin \alpha}{d_V}; \quad \frac{\partial z_T}{\partial a} = \left(\frac{a^2 b_{\Pi} k_{\Pi\Pi}}{d_V} - \frac{(0,5d_V - z) k_{\Pi\Pi} b_{\Pi} + b_T k_{PM} s_{\Pi}}{2 \sin^2 \alpha} \right) \cos \alpha; \quad (20)$$

$$\frac{\partial z_{TB}}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial z_{TB}}{\partial \alpha} = \frac{(0,5d_B - l_0) \cos \alpha}{50\gamma d_V d_B s_{\Pi}} \left[kC_{TM} k_{\Pi\Pi} a_1 + \frac{C_{\Pi\Pi} k_{\Pi\Pi} s_{\Pi} (d_V - 2a_0 - 2z)}{2a_0} \right]. \quad (21)$$

Сложив отдельно производные по a и по α , и, приравняв суммы к 0, получим системы уравнений, определяющих опти-

мальные значения смещения уса a и угла его примыкания к ветке α .

При размещении магистральных волоков параллельно ветке

$$\frac{2ab_T k_{PM} \sin \alpha}{d_V} = b_B k_{PB};$$

$$\frac{b_B k_{PB}(d_B d_V \cos \alpha) \sin \alpha}{2 \sin^2 \alpha} + \left(\frac{b_T k_{PM} a^2}{d_V} - \frac{b_T k_{PM}(0,5d_V - a_0 - z) + b_{\Pi} k_{\Pi\Pi} s_{\Pi}}{2 \sin^2 \alpha} \right) \cos \alpha +$$

$$+ \frac{(0,5d_B - l_0) \cos \alpha}{50\gamma d_V d_B s_{\Pi}} \left[2C_{TM} k_{PM} a_1 + \frac{C_{\Pi\Pi} k_{\Pi\Pi} (d_V - 2a_0 - 2z)(s_{\Pi} - a_0)}{2a_0} \right] = \frac{d_B k_0 k_{PY} b_V k_1 \cos \alpha}{2 \sin^2 \alpha}. \quad (22)$$

Из первого уравнения системы (22) найдем, что $a \sin \alpha = \frac{b_B k_{PB} d_V}{2b_T k_{PM}}$. Второе

уравнение системы (22) умножим на $2 \sin^2 \alpha$, с учетом первого уравнения после преобразований получим:

$$(A - B) \cos \alpha + B \cos^3 \alpha = b_B k_{PB} d_B; \quad (23)$$

$$A = d_B k_0 k_{PY} b_V k_1 + b_B k_{PB} d_V - \frac{b_B^2 k_{PB}^2 d_V}{2b_T k_{PM}} + b_T k_{PM} (0,5d_V - a_0 - z) + b_{\Pi} k_{\Pi\Pi} s_{\Pi}; \quad (24)$$

$$B = \frac{(0,5d_B - l_0)}{25\gamma d_Y d_B s_{\Pi}} \left[2C_{TM} k_{PM} a_1 + \frac{C_{ТП} k_{П\Pi} (d_Y - 2a_0 - 2z)(s_{\Pi} - a_0)}{2a_0} \right]. \quad (25)$$

При размещении магистральных волоков параллельно усу

$$\begin{aligned} \frac{2k_{П\Pi} b_{\Pi} \sin \alpha}{d_Y} &= b_B k_{PB}; \\ \frac{b_B k_{PB} (d_B - d_Y \cos \alpha)}{2 \sin^2 \alpha} &+ \left(\frac{k_{П\Pi} b_{\Pi} a^2}{d_Y} - \frac{(0,5d_Y - a_0 - z) k_{П\Pi} b_{\Pi} + b_T k_{PM} s_{\Pi}}{2 \sin^2 \alpha} \right) \cos \alpha + \\ &+ \frac{(0,5d_B - l_0) \cos \alpha}{50\gamma d_Y d_B s_{\Pi}} \left[kC_{TM} k_{PM} a_1 + \frac{C_{ТП} k_{П\Pi} s_{\Pi} (d_Y - 2a_0 - 2z)}{2a_0} \right] = \frac{d_B k_0 k_{PY} b_Y k_1 \cos \alpha}{2 \sin^2 \alpha}. \end{aligned} \quad (26)$$

Из первого уравнения системы (26) найдем, что $a \sin \alpha = \frac{b_B k_{PB} d_Y}{2k_{П\Pi} b_{\Pi}}$. Выполнив

точно такие же действия, как в случае преобразования уравнений системы (22), получим зависимости:

$$(C - D) \cos \alpha + D \cos^3 \alpha = b_B k_{PB} d_B; \quad (27)$$

$$C = d_B k_0 k_{PY} b_Y k_1 + b_B k_{PB} d_Y - \frac{2k_{П\Pi} b_{\Pi} a^2 \sin \alpha}{d_Y} + (0,5d_Y - z) k_{П\Pi} b_{\Pi} + b_T k_{PM} s_{\Pi}; \quad (28)$$

$$D = \frac{(0,5d_B - l_0)}{25\gamma d_Y d_B s_{\Pi}} \left[kC_{TM} k_{PM} a_1 + \frac{C_{ТП} k_{П\Pi} s_{\Pi} (d_Y - 2a_0 - 2z)}{2a_0} \right]. \quad (29)$$

Зависимости (23) – (29) позволяют рассчитать оптимальный угол примыкания уса к ветке с учетом размещения трелевочных волоков, что обеспечит на стадии проектирования сети лесных дорог и технологических процессов заготовки древесины снижение затрат на вывозку древесины.

Библиографический список

1. Ильин Б.А. Основы размещения лесовозных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий. Л.: ЛТА, 1987. 63 с.
2. Афони́чев Д.Н. Оптимизация размещения внутриплощадочных дорог в сырьевых базах лесозаготовительных предприятий // Природопользование: ре-

сурсы, техническое обеспечение: межвуз. сб. научн. тр. / ВГЛТА. Воронеж, 2007. Вып. 3. С. 36–42.

3. Афони́чев Д.Н. Размещение лесовозного уса на лесосеке // Вестник МГУЛа – Лесной вестник, 2009. № 3. С. 92–94.

4. Пядухов А.В. Размещение лесовозного уса на лесосеке с учетом направления грузопотока // Ресурсосберегающие и экологически перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего: Матер. междунар. научн.-практич. конф., посвящ. 55-лет. лесоинженерного факультета ВГЛТА // ВГЛТА. Воронеж, 2009. С. 340–344.